

Robert Donnerhack

**Hydraulische Schaltungen in Ein- und Mehrkesselanlagen –
Möglichkeiten der Realisierung der Anlagenhydraulik im Erzeugerkreis**

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Maschinenbau/Feinwerktechnik

Dresden, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. H.G. Kretzschmar

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. I. Körner

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Donnerhack, Robert:

Hydraulische Schaltungen in Heizungsanlagen – Möglichkeiten der Realisierung der Anlagenhydraulik im Erzeugerkreis. - 2009.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau/
Feinwerktechnik, Diplomarbeit, 2009.

Referat:

In dieser Diplomarbeit werden der Aufbau und die Wirkungsweise der Hydraulik von Heizungsanlagen betrachtet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Schaltung der Wärmeerzeuger im Erzeugerkreis dieser Anlagen, insbesondere bei Mehrkesselanlagen. Anhand eines Praxisbeispiels sollen die möglichen Lösungsansätze für derartige Probleme aufgezeigt werden.

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	5
1	Grundlagen	6
1.1	Definitionen und Bestandteile	6
1.2	Prinzipielle hydraulische Schaltungen in Heizungsanlagen	7
1.2.1	Drosselschaltung	7
1.2.2	Beimischschaltungen	8
1.2.2.1	Beimischschaltung mit Mischventil	8
1.2.2.2	Beimischschaltung mit Verteilventil	9
1.2.2.3	Beimischschaltung mit drucklosem Verteiler	
1.2.3	Verteilerschaltungen	11
1.2.3.1	Verteilerschaltung mit Verteilventil	12
1.2.3.2	Verteilerschaltung mit Mischventil	12
1.2.4	Einspritzschaltung	12
1.2.5	Bauteile in hydraulischen Schaltungen	13
1.2.5.1	Stellarmaturen	13
1.2.5.1.1	Durchgangsventil	14
1.2.5.1.2	Dreiwegeventil	15
1.2.5.3	Vierwegeventil	15
1.2.5.4	Hydraulische Weiche	16
1.2.5.5	Pufferspeicher	17
1.3	Art der Wärmeerzeugung und Einfluss auf die Anlagenhydraulik	
1.3.1	Heizkesselbauarten	18
1.3.1.1	Gaskessel	19
1.3.1.2	Ölkessel	20
1.3.1.3	Festbrennstoffkessel	20
1.4	Anforderungen und Besonderheiten bei der hydraulischen Einbindung	22
1.4.1	Mindestvolumenströme	22
1.4.2	Druckverluste	22
1.4.3	Rücklauf temperaturanhebung	22
1.4.4	Brennwertnutzung	23
2	Hydraulische Schaltungsarten von Wärmeerzeugern im Erzeugerkreis	25
2.1	Einkesselanlagen	25
2.1.1	Einkesselanlagen mit einem Heizkreis	25
2.1.2	Einkesselanlagen mit mehreren Heizkreisen	25
2.1.2.1	Anlagen ohne Kesselkreispumpe	25
2.1.2.2	Anlagen mit Kesselkreispumpe	26
2.2	Mehresselanlagen	27
2.2.1	Allgemeine Betrachtungen	27
2.2.2	Parallelschaltung	29

2.2.3	Reihenschaltung	33
3	Vorgehensweise bei der Wahl der Anlagenhydraulik in Mehrkesselanlagen – ein Leitfaden erläutert am Beispiel der Sanierung der Wärmeerzeugeranlage im Staatsbetrieb Sachsenforst in Graupa	34
3.1	Grundlagen	34
3.2	Maßnahmen im Staatsbetrieb Sachsenforst, Geschäftsleitung Graupa	34
3.2.1	Vorbetrachtungen	34
3.2.2	Analyse der Bestandsanlage	35
3.2.3	Ermittlung des erforderlichen Wärmebedarfs	36
3.2.4	Sanierung der Mehrkesselanlage	36
3.2.5	Kurzanleitung	41
4	Zusammenfassung	42
	Anlagen	43
	Literaturverzeichnis	46
	Abbildungsverzeichnis	48
	Selbständigkeitserklärung	49

0 Einleitung

Die zur Beheizung eines Gebäudes erforderliche Wärmemenge wird durch Berechnung der Heizlast ermittelt. Um diese und weitere aus den gebäudetechnischen Anlagen resultierende Wärmeanforderungen abdecken zu können, müssen Heizungsanlagen neben Bereitstellung der erforderlichen Leistung auch hinsichtlich der hydraulischen Einbindung genauer betrachtet werden. Dies ist besonders dann erforderlich, wenn die Anlagen aus mehr als einem Wärmeerzeuger bestehen. Das Ziel ist es dabei immer ein hydraulisch abgeglichenes System zu erreichen.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Möglichkeiten der hydraulischen Schaltungen in Heizungsanlagen in der technischen Gebäudeausrüstung näher betrachtet werden. Dabei liegt ein Schwerpunkt auf der Betrachtung der allgemeinen Anlagenhydraulik. Darauf aufbauend werden die Varianten der hydraulischen Einbindung des Erzeugerkreises in Ein- und Mehrkesselanlagen näher beleuchtet.

Die prinzipielle Vorgehensweise für die Auswahl der Anlagenhydraulik für Wärmeerzeugungsanlagen soll durch einen Leitfaden zur Betrachtung derartiger Probleme näher differenziert werden.

Die Ergebnisse finden ihre praktische Anwendung im Projekt der Anlagensanierung im Sachsenforst Graupa, dessen intensive Planung und Ausführung im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit erfolgte.

1 Grundlagen

Für den Transport der im Kessel erzeugten Wärme zu den entsprechenden Verbrauchern ist ein funktionierendes, hydraulisch abgeglichenes Wasserkreislaufsystem erforderlich. Die Realisierung dieses Systems hängt im Wesentlichen von der hydraulischen Schaltung des Erzeuger-, Verteiler- und Verbraucherkreises ab.

Bei der technischen Umsetzung der Heizungsanlagen in der Praxis findet man die jeweiligen Arten der hydraulischen Schaltungen selten nur in einzelner Verwendung. Zumeist werden die Schaltungen in Kombination mit mehreren Schaltungsarten verwendet. Zum besseren Verständnis der Funktionsweise dieser komplexen Schaltungen müssen die einzelnen Schaltungsarten für sich zunächst genauer betrachtet werden.

1.1 Definitionen und Bestandteile

Die für die Beheizung eines Raumes erforderliche Wärmemenge wird über eine definierte, berechnete Heizfläche an diesen abgegeben. Die im Wärmeerzeuger bereitgestellte Energie wird in Form des erhitzten Heizwassers über ein Rohrleitungssystem zu den Verbrauchern transportiert. Um eine Anpassung der durch den Wärmeerzeuger bereitgestellten Wärmemenge an den tatsächlichen Wärmebedarf des Raumes zu erreichen stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen kann dies durch eine Änderung der im Heizkreis zirkulierenden Wassermenge erfolgen. Zum anderen wäre eine Änderung der Temperaturdifferenz realisierbar. Bezogen auf die hydraulische Schaltung eines Heizsystems kann dies entweder als Drosselregelung, die auch als Mengenregelung bezeichnet wird, oder als Mischregelung erfolgen.

Bei der Drossel- oder Mengenregelung erfolgt eine Änderung des Heizwasservolumenstroms, der den Raumheizflächen zugeführt wird. Sofern die Heizungsanlage nicht über eine außenluftgeführte Regelung verfügt, werden die Heizflächen mit Heizungswasser versorgt, dessen Temperatur

nahezu identisch mit der Kesseltemperatur ist. Eine Regelung erfolgt dann erst an der Wärmeübertragerfläche. Als bauliches Merkmal der Drossel- oder Mengenregelung wird die Umwälzpumpe im Erzeugerkreis installiert.

Die Mischregelung zeichnet sich durch einen konstanten Heizwasser-Volumenstrom im Verteiler- bzw. Verbraucherkreis aus. Die Vorlauftemperatur kann entsprechend dem tatsächlich benötigten Wärmebedarf angepasst werden.

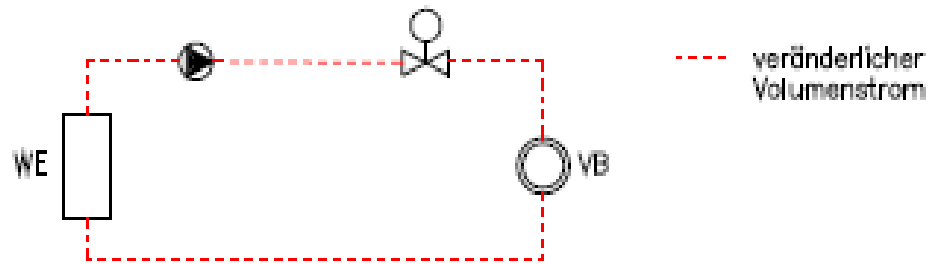
1.2 Prinzipielle hydraulische Schaltungen in Heizungsanlagen

1.2.1 Drosselschaltung

Die Drosselschaltung (Abb. 01) stellt die einfachste Form einer hydraulischen Schaltung dar. Dabei wird das Prinzip der Drossel- oder Mengenregelung angewendet. Ein im Vor- oder Rücklauf des Leitungssystems befindliches Durchgangsventil übernimmt entsprechend seiner Einstellung eine Regelung des Volumenstroms. Dieser kann im gesamten Leitungssystem mittels der Mengenregelung verändert werden. Der Druck im Leitungssystem schwankt in Abhängigkeit von der Stellung des Ventils. Das Ventil kann als einfaches Durchgangsventil ausgeführt sein, bei dem ein den Volumenstrom veränderlicher Widerstand in das strömende Heizwasser eintaucht. Die Betätigung des Ventils erfolgt manuell oder motorisch.

Nur durch eine Durchflussänderung mittels eines entsprechenden Ventils besteht bei dieser Form der Schaltung die Möglichkeit zur Anpassung der Vorlauftemperatur im Verbraucherkreis an den tatsächlich erforderlichen Wärmebedarf. In den meisten Fällen erfüllt ein Thermostatventil, das unmittelbar am Heizkörper angebracht ist, diese Funktion.

Abb. 01 Drosselschaltung mit Durchgangventil



1.2.2 Beimischschaltungen

Mit der Beimischschaltung wird das Prinzip der Mischregelung umgesetzt, wobei ein konstanter Volumenstrom im Verbraucherkreis sichergestellt ist. Die Regelung der Vorlauftemperatur in den Heizkreisen wird durch die Beimischung von Rücklaufwasser in den Vorlauf realisiert. Die Anordnung des Stellgliedes im Vor- oder Rücklauf bestimmt dabei die Funktion der Schaltung. Das Ventil wird mindestens als Dreiwegeventil ausgeführt, es kann für komplexere Anlagen ein Vierwegeventil verwendet werden.

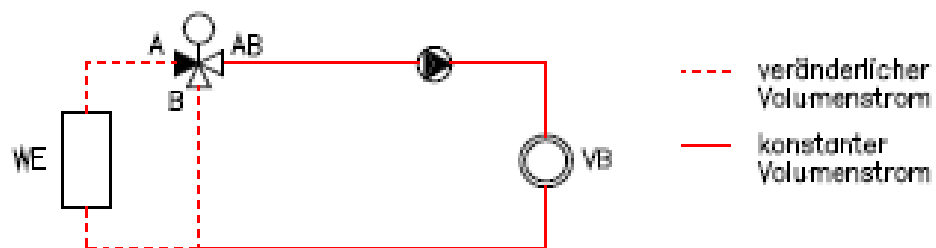
1.2.2.1 Beimischschaltung mit Mischventil

Bei der Beimischschaltung (Abb. 03) mit einem im Heizwasservorlauf befindlichen Dreiwegeventil wird das von einem Wärmeerzeuger bereitgestellte Heizwasser bei der Ventilstellung A-AB direkt zu einem Wärmeverbraucherkreis transportiert. Hat das zurückströmende Wasser noch eine ausreichend hohe Temperatur, d.h. die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf weist einen Mindestwert von z.B. 15 K auf, dann kann das zurückströmende Rücklaufwasser sofort wieder in den Vorlauf eingespeist werden. Zur Änderung des Fließweges muss die Stellung des Dreiwegeventils durch Hub des Ventilkegels geändert werden. Es erfolgt eine Stellungsänderung von A-AB auf B-AB. Der Wasservolumenstrom wird im Verbraucherkreis konstant gehalten.

Die Verwendung dieser Schaltung in der Heizungstechnik lässt sich an zwei typischen Anwendungen aufzeigen. Beim Einsatz dieser Beimischung im Erzeugerkreis kann eine verlustbehaftete Durchströmung des Wärmeerzeugers vermieden werden, wenn das aus dem Verteilungskreis zurückströmende Wasser ausreichend temperiert ist und eine Nacherhitzung durch den Wärmeerzeuger nicht erforderlich ist.

Am weitesten verbreitet ist die Anwendung dieser Schaltung jedoch bei der hydraulischen Einbindung von Verbraucherkreisen.

Abb. 03 Beimischschaltung mit Mischventil

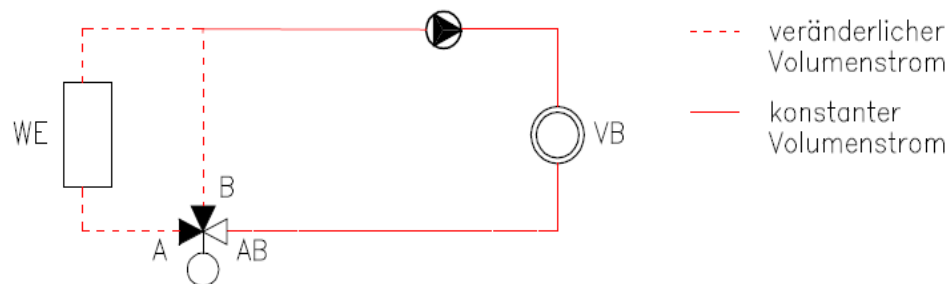


1.2.2.2 Beimischschaltung mit Verteilventil

Die Funktion der Beimischschaltung mit Verteilventil (Abb. 04) entspricht der gleichen wie bei der Variante mit Mischventil. Es wird lediglich das Ventil in den Heizungsrücklauf integriert. Danach wird wieder in Abhängigkeit von der Rücklauftemperatur des Heizwassers und damit der resultierenden Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf die Fließrichtung geregelt. Ist der Heizwasserrücklauf ausreichend hoch temperiert, wird dieser durch die Ventilstellung B-AB wieder direkt in den Heizungsvorlauf beigemischt. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, muss eine Nacherhitzung des Wassers im Wärmeerzeuger erfolgen. Dazu wird die Fließrichtung mittels der Ventilstellung A-AB freigegeben.

Eine praktische Anwendung dieser Schaltung kann bei den unter Punkt 1.2.2.1 genannten Beispielen erfolgen.

Abb. 04 Beimischschaltung mit Verteilventil

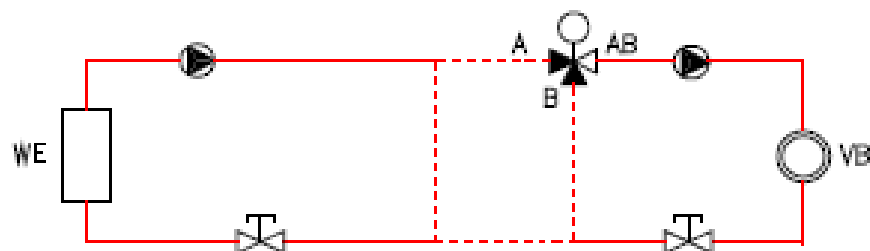


1.2.2.3 Beimischschaltung mit differenzdrucklosem Verteiler

Beim Einsatz von drucklosen Verteilern (Abb. 08) wird eine Trennung hinsichtlich Druck und Volumen zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreis erreicht. Der vom Erzeugerkreis wirkende Fließdruck wird im drucklosen Verteiler abgebaut. Die Umwälzpumpe in den jeweiligen Verbraucherkreisen dient nur der Überwindung des heizkreisseitigen Druckverlustes.

Die Verbraucherkreise sind damit hydraulisch unabhängig von den anderen Anlagenteilen. Bei hinreichend dimensionierten Kreisen ist die Druckdifferenz zwischen Austritt aus dem Verteiler und Eintritt in den Sammler gleich null. Es erfolgt damit keine hydraulische Beeinflussung zwischen den Erzeuger- und den Verbraucherkreisen.

Abb. 08 Beimischschaltung mit differenzdrucklosem Verteiler



1.2.3 Verteilerschaltungen

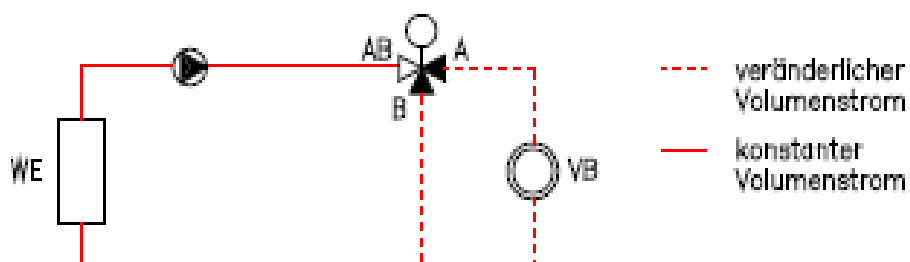
Bei der Verteilerschaltung erfolgt die Aufteilung eines konstanten Vorlauf-Volumenstroms aus dem Erzeugerkreis auf zwei oder mehrere Teilströme. Im Rücklauf werden diese Teilströme wieder zusammengeführt. Durch die Möglichkeit der Durchflussregelung ergibt sich in den Verteilungs- bzw. Verbraucherkreisen eine Stromvariabilität. Unabhängig von der Durchströmung der genannten Kreise wird im Erzeugerkreis immer ein konstanter Volumenstrom sichergestellt. Die Regelung der Fließrichtung des Heizwassers erfolgt über ein Dreiwegeventil, das entsprechend der Anordnung im Fließweg eine Verteilungs- oder Mischfunktion besitzt.

Die Anwendung dieser Schaltung erfolgt sehr oft unmittelbar im Erzeugerkreis selbst. Dies ist vor allem bei Heizkesseln der Fall, die eine Mindest-Rücklauftemperatur erfordern.

1.2.3.1 Verteilerschaltung mit Verteilventil

Bei der Verteilerschaltung mit Verteilventil erfolgt die Verwendung eines Dreiwegeventils (Abb. 05) im Heizungsvorlauf. Dadurch kann die geregelte Aufteilung des Volumenstroms im Leitungsnetz erfolgen. Die Größe des Wasservolumens des durchströmten Leitungsabschnittes ist dabei wieder abhängig von der Stellung des Ventils. Der mögliche Fließweg kann in diesem Fall AB-B oder AB-A sein.

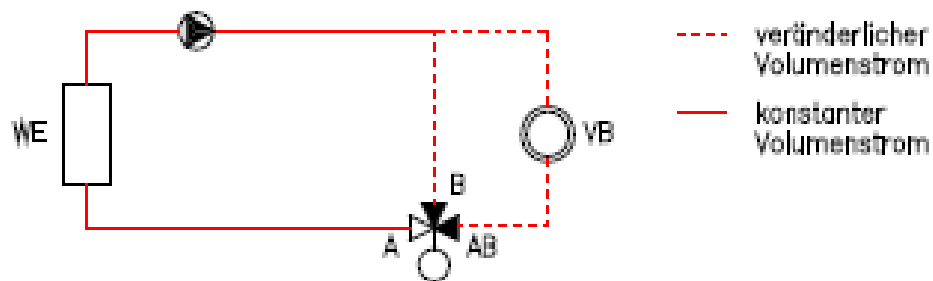
Abb. 05 Verteilerschaltung mit Verteilventil



1.2.3.2 Verteilerschaltung mit Mischventil

Durch die Verteilerschaltung mit einem Ventil im Rücklauf (Abb. 06) kann auch eine Mengenregelung umgesetzt werden. In Abhängigkeit der Stellung des Ventilkegels erfolgt eine volumenmäßige Regelung der Fließrichtung und damit die Durchströmung der jeweiligen Anlagenteile. Die Stellung des Dreiwegeventils kann B-AB oder A-AB als Fließwege freigeben.

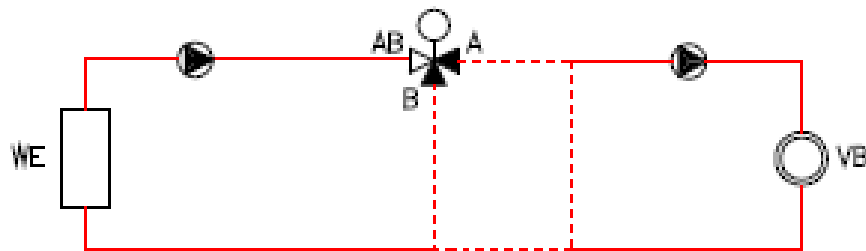
Abb. 06 Verteilerschaltung mit Mischventil



1.2.4 Einspritzschaltung

Die Einspritzschaltung (Abb. 07) stellt eine einfache Kombination aus Verteilerschaltung mit Verteilventil und Beimischschaltung dar, mit der die Regelung der Temperatur erfolgen kann. Der Erzeugerkreis ist dabei entweder aufgebaut wie eine Verteilerschaltung mit Verteilventil (vgl. Punkt 1.2.3.2) oder mit Mischventil (vgl. Punkt 1.2.3.3). Beide Schaltungen sind durch einen konstanten Volumenstrom im Rohrleitungsnetz gekennzeichnet. Es besteht die Möglichkeit die benötigte Wärmemenge im Erzeugerkreis unabhängig von der Abnahme im Verbraucherkreis zur Verfügung zu stellen. Der Verteilerkreis ist in Abhängigkeit von der Durchströmung des Erzeuger- und Verbraucherkreises durch einen variablen Volumenstrom gekennzeichnet. Für den Verbraucherkreis wird eine Beimischschaltung (vgl. Punkt 1.2.2) angewendet. Um eine vom Erzeuger- und Verteilerkreis unabhängige Durchströmung des Erzeugerkreises zu erreichen ist bei diesem ein Bypass zwischen Vor- und Rücklauf integriert.

Abb. 07 Einspritzschaltung



1.2.5 Bauteile in hydraulischen Schaltungen

1.2.5.1 Stellarmaturen

Für die Regelung des Volumenstromes, der einen bestimmten Abschnitt eines hydraulischen Kreises durchströmen soll, werden Stellarmaturen verwendet. In diesen Armaturen wird der Strömungsquerschnitt durch einen Verschlusskörper variiert. Dieser Stellkörper kann als Hahn, Klappe, Schieber oder Ventil (siehe Tab. 1.0) ausgeführt sein. Die Unterschiede bestehen neben der baulichen Ausführung in dem daraus resultierenden Verschlussprinzip.

Tabelle 1.0 Ausführungsarten von Stellgliedern

Stellglied	Prinzip der Verstellung (Verschlusskörper)	Bauart
Hahn	Drehbewegung	Durchgangsform Dreiwegform
Ventil	Hubbewegung	Durchgangsform Eckform Dreiwegventil
Klappe	Drehbewegung	
Schieber	Hubbewegung	

Im Rahmen dieser Arbeit soll der Schwerpunkt der Betrachtung auf den Ventilen und deren Ausführung liegen. Die Ventile werden durch die

charakteristischen Kenngrößen Ventilkennlinie und dem Durchflussskennwert k_v beschrieben.

Der k_v -Wert beschreibt den Volumenstrom durch ein Ventil bei beliebigen, zum Zeitpunkt der Betrachtung vorliegenden Hub H , wobei die Druckdifferenz ein bar beträgt. Als Medium wird Wasser mit einer Temperatur im Bereich zwischen 5...30 °C angenommen. Bei einem voll geöffneten Ventil ist der Nennhub H_{100} erreicht. Auf dieser Basis erfolgt die Angabe des k_{vs} -Wertes für die Bauserie eines Ventils. In der praktischen Anwendung findet man diese Werte als Katalogangaben für Ventile. Der K_{v100} -Wert beschreibt den k_v -Wert eines ganz bestimmten Ventils, bei dem der Nennhub H_{100} erreicht ist. Die Abweichung vom k_{vs} -Wert sollte möglichst nicht mehr als 10% betragen.

Die Kennlinie eines Ventils beschreibt die Abhängigkeit des k_v -Wertes vom Hub. Wenn eine Änderung des Hubes die gleiche Änderung des k_v -Wertes bewirkt, dann bezeichnet man dies als lineare Kennlinie. Im Gegensatz dazu gehören bei der gleichprozentigen Kennlinie zu gleichen Änderungen des Hubes auch gleiche prozentuale Änderungen des Hubes.

1.2.5.1.1 Durchgangsventil

Das Durchgangsventil stellt die einfachste Form eines Ventils dar. Mit diesem Ventil ist die Regelung des Volumenstroms nach dem Prinzip der Drosselung möglich. Die Regelung des freigegebenen Querschnittes des Fließwegs erfolgt durch einen Ventilkegel. In Abhängigkeit von dessen Stellung wird eine Änderung des Volumenstroms realisiert. Die Bewegung des Ventilkegels erfolgt durch die Ventilspindel. Diese kann mit einem elektromotorischen, pneumatischen, hydraulischen oder magnetisch betätigten Antrieb (Roos, 1999, S. 53) bewegt werden.

Die Dimensionierung erfolgt nach dabei nach:

$$k_{vs} = \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta p_{V100}}{1bar}}} \quad \text{mit} \quad \Delta p_{V100} = P_v * \Delta p_{V0}$$

Dabei sollte die Ventilautorität im Bereich von 0,3 bis 0,5 bar liegen.

1.2.5.1.2 Dreiwegeventil

Im Dreiwegeventil ist durch drei Anschlüsse gekennzeichnet. Die Durchströmung des Ventil erfolgt der festgelegten Funktion. Bei der Verwendung als Mischventil werden die Volumenströme A und B zum gemeinsamen Volumenstrom AB gemischt (Roos. 1999. S.99). Als Verteilventil erfolgt die Aufteilung des Gesamtvolumenstroms AB auf die Einzelströme A und B. Der Einsatz in den hydraulischen Schaltungen wurde bereits unter Punkt 1.2 ausführlich erläutert.

Der Ventilkennwert k_v für die Anschlüsse A und B des Ventils ergibt sich in Abhängigkeit vom Stellhub h . Der k_v -Wert für den Anschluss setzt sich aus der Summe bei beiden einzelnen Werte von A und B zusammen.

1.2.5.3 Vierwegeventil

Die Vierwegearmatur ist durch insgesamt vier Fließwege gekennzeichnet. Sie bietet die Möglichkeit auf einfachste Weise eine hydraulische Einbindung eines Wärmeerzeugers im Erzeugerkreis zu realisieren (VDI 2073. 1999. S. 18)). Dabei ist zu beachten, dass diese Schaltung nur für Einkesselanlagen anzuwenden ist. Die Forderung einer Mindestrücklauftemperatur des Heizwassers kann durch ihn sichergestellt werden. Wenn jedoch in den Verbraucherkreisen eine Regelung des Heizwasservolumenstroms und der Vorlauftemperatur unabhängig vom eigentlichen Erzeugerkreis erfolgen soll, ist nur die hydraulische Trennung beider Anlagenteile möglich. Die Rücklauftemperaturanhebung im Erzeugerkreis wird dann durch eine Kesselkreispumpe und ein Dreiwegeventil sichergestellt.

1.2.5.4 Hydraulische Weiche

Die hydraulische Weiche (Abb. 09) besteht als Bauteil lediglich aus einer geschlossenen Kammer, die durch zwei wechselseitig angeordnete Anschlüsse für Vor- und Rücklauf gekennzeichnet ist. Die anlagenseitige Anordnung erfolgt zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreis. Sie arbeitet dort nach dem Prinzip eines hydraulischen Ausgleichs. Dadurch wirken sich die in Abhängigkeit vom Wärmebedarf variierenden Volumenströme im Verbraucherkreis nicht auf die erforderlichen Mindest-Volumenströme (VDMA 24770, 1989, S. 7) im Erzeugerkreis aus.

Sofern die Volumenströme im Kesselkreislauf und im Verteiler-/ Verbraucherkreis identisch sind, erfolgt in der Weiche keine Vermischung beider Ströme. Ein direktes Überströmen vom Vorlauf in den Rücklauf erfolgt nur dann, wenn der Volumenstrom im Kesselkreis größer als der im Verbraucherkreis ist.

Die Zuschaltung der jeweiligen Kessel wirkt sich strömungstechnisch nicht negativ auf das gesamte Netz aus.

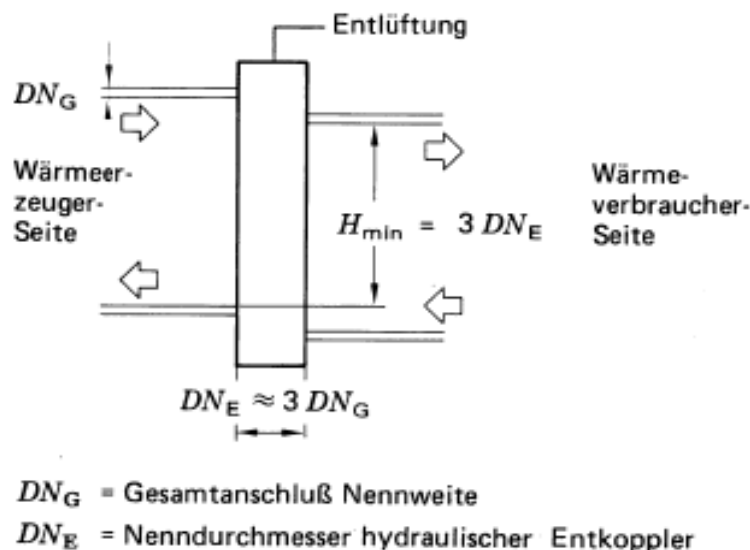
In Analogie dazu ist der umgekehrte Effekt möglich, wenn der Volumenstrom im Kesselkreis kleiner als der im Verteiler-/ Verbraucherkreis ist.

Für den Einsatz eines hydraulischen Entkopplers muss die Strömungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Diese sollte maximal 0,2 m/s betragen (VDMA 24770, 1989, S. 7). Dadurch kann ein vernachlässigbar kleiner Druckabfall erreicht werden.

Die für Heizungsanlagen verwendbaren hydraulischen Weichen sind als fertige Bauteile erhältlich. Hinsichtlich der Dimensionierung werden folgende Punkte berücksichtigt: die Nennweite der heizwasserseitigen Anschlüsse resultiert aus Volumenstrom, der sich für die Mehrkesselanlage ergibt. Der Nenndurchmesser der Weiche sollte dem dreifachen Durchmesser der Anschlussnennweite entsprechen. Der Abstand der heizwasserseitigen Anschlüsse für Vor- und Rücklauf soll einen Mindestabstand vom dreifachen des Nenndurchmessers der Weiche einhalten.

Zur Sicherstellung der thermischen Trennung wird der senkrechte Einbau der Entkopplung bevorzugt angewendet. Bedingt durch die Einbaulage und die Strömungsgeschwindigkeit ist eine Ansammlung von Luft möglich. Aus diesem Grund wird am höchsten Punkt der hydraulischen Weiche eine Entlüftung vorgesehen, die manuell betätigt oder automatisch arbeitend funktioniert. Als weiteres bauliches Merkmal kann am tiefsten Punkt eine Auslassöffnung zur Abscheidung von Schlamm angebaut sein.

Abb. 09 Hydraulische Weiche



1.2.5.5 Pufferspeicher

Der Einsatz von Pufferspeichern erfolgt in Heizungsanlagen bei denen eine zeitliche Differenz zwischen der Wärmeerzeugung und dem eigentlichen Wärmeverbrauch existiert. Die hydraulische Einbindung erfolgt vom Wärmeerzeuger erfolgt über die Heizwasserleitungen. Die Größe des Pufferspeichers richtet sich nach dem abzudeckenden Wärmebedarf und der Temperaturspreizung des Heizwassersystems. Als weitere Faktoren seien die Heizkesselgröße und die Betriebszeit genannt.

Aus Sicht der Hydraulik wird durch den Pufferspeicher eine Trennung zwischen dem Erzeugerkreis und den Verbraucherkreisen erreicht. Im

Erzeugerkreis ist der Volumenstrom annähernd konstant und unabhängig von den nachfolgend eingebundenen Verbraucherkreisen.

Da die Verwendung von Pufferspeichern erfolgt zumeist in Verbindung mit Biomasse-Festbrennstoffkesseln, Wärmepumpenanlagen und thermischen Solaranlagen. Da diese Arten der Wärmeerzeugung nicht Hauptbestandteil dieser Arbeit sind, wird auf eine detaillierte Darstellung an dieser Stelle verzichtet.

1.3 Art der Wärmeerzeugung und Einfluss auf die Anlagenhydraulik

Um die Hydraulik im Erzeugerkreis bestimmen zu können, muss definiert werden welche Art von Wärmeerzeuger im Primärkreis zum Einsatz kommt. Davon hängt im Wesentlichen ab, welche Anforderungen an den Aufbau, die Betriebsweise der Anlage und damit auch an die Regelung der Hydraulik gestellt werden.

Bei einer detaillierten Planung muss eine genaue Überprüfung erfolgen, welche Anforderungen an den Wärmeerzeuger bestehen. Im Normalfall gelten hier die Angaben des Herstellers als verbindliche Kriterien für die Betriebsweise.

Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt in der Betrachtung bei den Heizkesselbauarten. Es erfolgt auch ein kurzer Ausblick auf Wärmeerzeuger, die regenerative Energie zur Wärmeerzeugung nutzen.

1.3.1 Heizkesselbauarten

Die Einteilung der Heizkesselbauarten nach einer Reihe von verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Für die weitere Betrachtung in dieser Arbeit spielt vor allem die Art der Betriebsweise (Tab. 1.1) die wichtigste Rolle. Bei der Brennstoffart werden Öl- und Gaskessel sowie die Wärmeerzeugern zur Verbrennung von Biomasse näher betrachtet.

Eine Unterscheidung hinsichtlich der Bauform erfolgt zwischen bodenstehenden oder wandhängenden Wärmeerzeugern. Die

Unterscheidung nach dem Werkstoff des Brennraumes bzw. der Wärmetauscherflächen erfolgt zwischen Gusseisen, Stahl und Edelstahl.

Tabelle 1.1 Übersicht zur Betriebsweise von Heizkesseln

Kesselart	Betriebsweise	Brennerart
Standardkessel	konstante Kesseltemperatur	atmosphärisch
Niedertemperaturkessel	Rücklauftemperaturen < 40°C	Gebläse
Brennwertkessel	Brennwertnutzung	Gebläse

Bei der Betrachtung der Heizkesselarten wird hier im einzelnen nicht zwischen Kleinkesseln und den Mittel- und Großkesseln unterschieden. Der Schwerpunkt liegt jedoch mit Bezug auf die näher betrachtete Wärmeerzeugungsanlage eindeutig auf dem Bereich der Mittel- und Großkesselanlagen.

1.3.1.1 Gaskessel

Die Kategorie der Wärmeerzeuger zur Verbrennung von Erd- oder Flüssiggas wird unterteilt in drei prinzipielle Kesselarten. Die einfachste Bauweise eines Gaskessels ist der Standardkessel. Die Verwendung dieses Kessels erfolgt mit einem Brenner ohne Gebläse. Für die Ausführung des Brenners gibt es zwei Varianten, entweder als atmosphärischer Brenner oder als Vormischbrenner. Der Nachteil dieser Kessel-Brenner-Kombination liegt in der nur bedingten Regelbarkeit der Kesseltemperatur entsprechend der erforderlichen Wärmemenge.

Eine günstigere Anpassung an diese Betriebsweise kann mit dem Gas-Niedertemperaturkessel erreicht werden. Dieser kann zur Bereitstellung der benötigten Wärmeenergie die Heizungswassertemperaturen soweit zurückfahren, dass Rücklauftemperaturen kleiner als 40°C möglich sind. Die verwendbaren Gebläse-Brenner können entsprechend ihrer Ausführung zweistufig oder modulierend in der Leistung geregelt werden.

Ein Brennwertkessel nutzt zusätzlich die latente Wärme des Rauchgases. Dazu wird das Rauchgas über einen zusätzlichen Wärmetauscher geführt. Durch die Abkühlung der Abgase erfolgt die Kondensation des darin enthaltenen Wasserdampfes. Die Verwendung von Brennwertkesseln erfolgt größtenteils mit modulierenden Gebläsebrennern, da mit diesen eine optimale Anpassung der Brennerleistung an den erforderlichen Wärmebedarf erreicht werden kann.

1.3.2 Ölkessel

Die Einteilung und die Bauweise der Kessel zur Verbrennung von Heizöl entspricht prinzipiell denen von Gaskesseln. Auch hier findet sich die Unterteilung in Standard-, Niedertemperatur- und Brennwertkessel wieder. Die Besonderheit bei der Brennwertnutzung ist die – unabhängig von der Leistung des Wärmeerzeugers - zwingend vorgeschriebene Neutralisation des Kondensates bedingt durch den Schwefelgehalt des Heizöls.

Der Einsatz von Öl-Gebläsebrennern kann analog erfolgen, jedoch wird in diesen erst eine Vorbehandlung des Öls durchgeführt. Dieses Prinzip der Aufbereitung des Öls erfolgt nach Verdampfen oder nach Zerstäuben.

1.3.3 Festbrennstoffkessel

Unter der Kategorie der Festbrennstoffkessel werden im Rahmen dieser Arbeit alle Heizkessel zur Verbrennung von Biomasse in Form von Stückholz, Hackschnitzel, Holzpellet verstanden.

Die Nutzung des Rohstoffes Holz zur Wärmeerzeugung kann damit auf unterschiedlichen Wegen erfolgen. In dieser Arbeit wird jedoch nicht genauer auf die spezifischen Ausführungen der Wärmeerzeuger und die verwendbaren Brennstoffe eingegangen.

Im Gegensatz zu den Öl- und Gasheizkesseln ist bei Holzkesseln eine Anpassung an den tatsächlichen Wärmebedarf nur begrenzt über eine

Regelung der Brennstoff- oder Sauerstoffzufuhr (Tab. 1.2) möglich. Die Verbrennung von Holz erfolgt im Volllastbetrieb des Kessels um hierbei eine vollständige Verbrennung des Holzes unter Freisetzung von Kohlendioxid zu erzielen. Durch diese Betriebsweise wird eine komplette Verbrennungsreaktion gewährleistet und die Bildung von Kohlenmonoxid verhindert.

Da die Anpassung der Kesselleistung und damit die Regelung der Heizwassertemperatur an den erforderlichen Wärmebedarf nicht direkt erfolgen kann, wird das erwärmte Heizwasser in einem Heizwasser-Pufferspeicher bevorratet.

Die Anpassung an den tatsächlichen Wärmebedarf kann durch die Hydraulik des Erzeugerkreises erfolgen. Dazu wird beispielsweise der Erzeugerkreis in Form einer Beimischschaltung mit einem Mischventil aufgebaut. Die bedarfsgerechte Regelung der Temperatur des Heizwasser-Vorlaufs zu den Wärmeverbrauchern erfolgt durch Beimischen kühleren Rücklaufwassers.

Tabelle 1.2 Arten von Biomasseheizkesseln

Kesselart	Betriebsweise	Regelbarkeit
Holzvergaserkessel	<ul style="list-style-type: none"> • manuelle Bestückung • unter Abbrand • gezielte Nachverbrennung der Abgase 	Regelung durch Regulierung der Luftzufuhr
Stückholzkessel	manuelle Bestückung	Regelung durch Regulierung der Luftzufuhr
Hackschnitzelkessel	automatische Bestückung über Förderschnecke	Regelung durch Brennstoffzufuhr
Pelletkessel	automatische Bestückung über Förderschnecke	Regelung durch Brennstoffzufuhr

1.4 Anforderungen und Besonderheiten bei der hydraulischen Einbindung

1.4.1 Mindestvolumenströme

Der konventionelle Heizkessel wird vom Heizwasser über den Wärmeübertrager durchströmt. Der Volumenstrom wird dabei durch den Druckverlust im Wärmetauscher begrenzt. Um die im Wärmeerzeuger bereitgestellte Wärmeenergie auf das Heizmedium übertragen zu können, muss eine ausreichende Menge Wasser zur Verfügung stehen. Wird der erforderliche Mindestvolumenstrom unterschritten, besteht die Gefahr der unzureichenden Wärmeabfuhr und damit der Folge eines Temperaturstaus. In diesem Fall würden die Sicherheitseinrichtungen des Wärmeerzeugers aktiv werden und es käme zu einer Auslösung des Sicherheitstemperaturbegrenzers (STB). Die Funktion dieses Sicherheitsbauteils ist bei den meisten Kesselregelungen bereits durch vom Hersteller integriert worden.

1.4.2 Druckverluste

Beim Durchfließen des Heizwassers durch die Wärmeübertragerfläche im Heizkessel muss der aus Reibung der Wassermoleküle mit der Wandung der Wärmetauscherfläche resultierende Druckverlust überwunden werden. Dieser sollte dabei möglichst klein sein um beim Betrieb mit variablem Kesselvolumenstrom den Minstdurchsatz möglichst gering halten zu können. Des Weiteren kann bei geringem wasserseitigen Druckverlust auf die Verwendung einer Kesselkreispumpe verzichtet werden.

1.4.3 Rücklauftemperaturenanhebung

Für einen Heizkessel kann aufgrund seiner Bauweise die Anforderung an eine Mindest-Rücklauftemperatur bestehen, wobei diese zumeist aus den verwendeten Werkstoffen resultieren. Um diese Bedingung erfüllen zu können, muss eine Anhebung der Temperatur des Rücklauf-Heizwassers

vorgesehen werden. Die technische Umsetzung erfolgt zum Beispiel durch eine Beimischpumpe (Abb. 10) die bei Unterschreitung der Mindestrücklauftemperatur Heizwasser aus dem Vorlauf dem Rücklauf beimischt. Die Auslegung der Beimischpumpe erfolgt auf 30 % der Gesamtdurchflussmenge des Wärmeerzeugers (Viessmann Werke. Fachreihe Mittel- und Großkessel. 2002, S. 29). Wenn zusätzlich die Möglichkeit besteht, regelungstechnisch auf den Verbraucherkreis einzuwirken, kann dort eine Drosselung des Volumenstroms über ein Stellventil erfolgen. Dadurch wird der Vorgang der Rücklauf-temperaturanhebung im Erzeugerkreis beschleunigt, denn es strömt nun ein geringerer Heizwasser-Volumenstrom in den Verbraucherkreis.

Eine weitere Möglichkeit zur Temperaturanhebung des Rücklauf-Heizwassers besteht darin, zusätzlich zur oben genannten Beimischpumpe ein Dreiwege-Mischventil im Erzeugerkreis (Abb. 11) zu verwenden. Das Stellventil wirkt dabei unterstützend zur eigentlichen Beimischpumpe, um die Mindest-Rücklauftemperatur schneller sicher stellen zu können.

Diese hydraulische Verschaltung kann verwendet werden, wenn über die Regelung der Kesselanlage nicht direkt auf den Verbraucherkreis eingewirkt werden kann.

Beim Unterschreiten einer geforderten Mindest-Rücklauftemperatur besteht die Gefahr in der unkontrollierten Kondensation von Wasserdampfes aus dem Abgas. Als Folge können unerwünschte korrosive Schäden im Wärmeerzeuger auftreten.

1.4.4 Brennwertnutzung

Bei der herkömmlichen Verbrennung von Heizöl oder Gas in Standard- und Niedertemperaturheizkesseln wird lediglich der Heizwert des Brennstoffes ausgenutzt. Die im Abgas noch enthaltene latente Wärmeenergie wird ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Bei der Brennwertnutzung werden die Abgase über einen zusätzlichen Wärmetauscher geleitet, der direkt an den

Heizwasserrücklauf angeschlossen ist. Durch den Kontakt der Abgase mit der Wärmetauscherfläche erfolgt deren Abkühlung und Kondensation. Die Ausnutzung des Brennwerteffektes ist dabei von der Temperaturdifferenz zwischen dem Abgas und der Temperatur des Heizwasserrücklauf abhängig. Aus diesem Grund sind bei Brennwertkesseln im Erzeugerkreis immer niedrige Rücklauftemperaturen zu gewährleisten. Für die hydraulische Einbindung der Kessel sind weiterhin folgende Punkte im Erzeugerkreis zu berücksichtigen: Zum einen können keine Vierwegeventile verwendet werden, da diese eine Anhebung der Heizwasserrücklauftemperatur hervorrufen. Der Einbau einer direkten Überströmung vom Heizwasservor- in den Rücklauf in Form von Bypässen sind nicht zulässig. Das bedeutet auch, dass keine Beimisch- und Kesselkreispumpen verwendet werden dürfen. Die direkte Einbindung in Heizwasserpufferspeicher und hydraulische Entkoppler mit Kesselkreispumpe gewährleistet ebenfalls keine ausreichend reduzierte Rücklauftemperatur des Heizwassers.

2 Hydraulische Schaltungsarten von Wärmeerzeugern im Erzeugerkreis

2.1 Einkesselanlagen

2.1.1 Einkesselanlagen mit einem Heizkreis

Die hydraulische Einbindung einer Einkesselanlage im Erzeugerkreis besteht im einfachsten Fall nur aus dem Wärmeerzeuger und der Verteilung (Abb. 10). Dabei wird die Zirkulation durch eine Umwälzpumpe, die im Heizwasservor- oder Rücklauf integriert wird, realisiert.

Die Forderung einer Mindestrücklauftemperatur für den Wärmeerzeuger kann durch ein Kesselstellglied (Dreiwegeventil) oder den Einsatz einer zusätzlicher Beimischpumpe gewährleistet werden (Abb. 11).

Eine kesselseitige Leistungsanpassung an den erforderlichen Wärmebedarf erfolgt durch Anpassung der Brennerleistung (modular, stufig).

2.1.2 Einkesselanlagen mit mehreren Heizkreisen

2.1.2.1 Anlagen ohne Kesselkreispumpe

Für die Betrachtung dieser Heizungsanlagen wird wieder von einem Wärmeerzeuger ausgegangen, der ohne Kesselkreispumpe ausgeführt wird.

Die Verbraucherkreise werden jetzt bestehend aus mehreren Heizkreisen angenommen. In jedem Verbraucher-Heizkreis befindet sich eine eigene Heizkreispumpe. Diese muss nun neben dem Druckverlust des eigentlichen Heizkreises auch den wasserseitigen Widerstand des Kessels kompensieren können. Die Verwendung einer weiteren Pumpe im Kesselkreis kann entfallen.

Eine weitere Möglichkeit zum Entfall der Kesselkreispumpe bieten Heizkessel, die über großen Wasserinhalt und durchgehende Wasserräume verfügen (Viessmann, 2002, S. 24). Der Durchflusswiderstand für das Heizwasser reduziert sich dadurch auf ein Minimum. Im Erzeugerkreis stellt sich eine durch die Schwerkraftwirkung hervorgerufene Eigenzirkulation des Heizwassers ein. Die Übertragung der Wärme an das Heizwasser

erforderliche Zirkulation durch den Heizkessel erfolgt nach diesem Prinzip, ohne dass eine Pumpe zur Zwangsdurchströmung erforderlich ist.

Bei dieser hydraulischen Schaltung wird der Wärmeerzeuger mit einem variablen Volumenstrom betrieben.

2.1.2.2 Anlagen mit Kesselkreispumpe

Wie unter Punkt 2.1.2.1 wird bei der Betrachtung wieder von einer Einkesselanlage bei der Betrachtung ausgegangen. Es wird hier die Verwendung einer Kesselkreispumpe vorausgesetzt, die eine Zwangsdurchströmung des Kessels sicherstellt. Die Verbraucherkreise werden erneut mit Heizkreispumpen ausgestattet, die in der Regel auf einer Verteiler-Sammler-Baugruppe angeordnet werden. Der Verteiler wird als druckloser Verteiler ausgeführt.

Aus Sicht der Hydraulik ergibt sich nun eine Reihenschaltung der Kesselkreis- und der Heizkreispumpen. Es besteht die Gefahr einer gegenseitigen Beeinflussung bedingt durch unterschiedliche Volumenströme zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreisen. Sofern der Volumenstrom der Kesselkreispumpe größer als die Summe der Volumenströme aller Heizkreispumpen ist, kann im Verteiler ein Überströmen vom Vor- in den Rücklauf erfolgen. Das Heizwasser strömt dann direkt im Primärkreis zurück zum Wärmeerzeuger. Durch die Nutzung dieses Kurzschlusses kann eine gegenseitige Beeinflussung der Kesselkreis- und Heizkreispumpen verhindert werden.

Bei Nichtfunktion dieser Umlenkung des Volumenstroms würden die Heizkreispumpen durch den Volumenstrom der Kesselkreispumpe überfahren werden, d. h. die Kesselkreispumpe würde die Durchströmung der Heizkreise übernehmen und damit die Heizkreispumpen wirkungslos machen.

Eine weitere technische Möglichkeit wäre der Einsatz einer hydraulischen Weiche (vgl. 1.2.5.1) im Erzeugerkreis. Dadurch könnte auf die Überströmmöglichkeit im Heizkreisverteiler verzichtet werden.

Die für die Verwendung der hydraulischen Weiche geltenden Bedingungen wurden bereits unter Punkt 1.2.5.4 erläutert.

2.2 Mehrkesselanlagen

2.2.1 Allgemeine Betrachtungen

Bei der Festlegung des Anlagenkonzeptes für eine Wärmeerzeugeranlage sind im Vorfeld der Planung einer Sanierung oder einer Neuanlage verschiedene Kriterien zu beachten. An erster Stelle der Überlegungen stehen dabei die Möglichkeit der Energieeinsparung und damit Umweltschonung (Viessmann 3, S. 34). Des Weiteren muss die Auswahl der Technik für das Anlagensystem berücksichtigt werden, insbesondere wenn im Zuge einer Anlagenmodernisierung bereits bestimmte Bauteile und Abschnitte wieder verwendet werden sollen. Der wichtigste Punkt bei derartigen Betrachtungen sind jedoch die zu erbringenden Investitionskosten und damit einhergehend die Rentabilität der gesamten Anlage.

In die Kategorie der Mehrkesselanlagen werden solche Anlagensysteme eingeordnet, die aus mindestens zwei Wärmeerzeugern bestehen. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Schwerpunkt auf konventionellen Wärmeerzeugern liegen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Es erfolgt jedoch auch ein kurzer Ausblick auf weitere Wärmeerzeuger, die in den meisten Fällen hydraulisch über einen Pufferspeicher ein gebunden werden.

Der prinzipielle Aufbau der hydraulischen Schaltungen von Mehrkesselanlagen gleicht auf in Bezug auf die Verbraucherkreise denen der Einkesselanlagen. Im Wärmeerzeugerkreis erfolgt die Verschaltung der einzelnen Wärmeerzeuger auf Basis der hydraulischen Grundschaltungen (vgl. Punkt 1.2).

Das Hauptaugenmerk für die Verwendung einer Mehrkesselanlage liegt in der Verfügbarkeit und Betriebssicherheit (Viessmann 3, S. 35). Durch die Redundanz der Wärmeerzeuger wird die Wärmeversorgung bei Ausfall eines Kessels durch Störung oder Wartung mittels des zweiten Kessels sichergestellt.

Zu Beginn der Anlagenplanung muss festgelegt werden, wie die zur Deckung des Wärmebedarfs erforderliche Kesselleistung auf die Wärmeerzeuger aufgeteilt werden soll. Im Zuge der Leistungsaufteilung spricht man auch von der Aufteilung hinsichtlich Grund- und Spitzenlast.

Es gibt zum einen die Möglichkeit, die Leistung zu einem Drittel und zu zwei Dritteln aufzuteilen. Diese Art der Aufteilung wurde in der Vergangenheit vor allem für Heizkessel verwendet, die eine Betriebsweise mit konstant hoher Temperatur erforderten (Viessmann 3, S. 36).

Eine weitere Möglichkeit ist die Aufteilung der Kesselleistung in Abhängigkeit der Anzahl der Wärmeerzeuger. Die Leistung wird dann entsprechend auf die Wärmeerzeuger aufgeteilt. Diese Verteilung lässt sich an mehreren Punkten festmachen. Bei der Verwendung von baulich gleichen Wärmeerzeugern, die einen identischen wasserseitigen Widerstand (Viessmann 3, S. 36) aufweisen, zeigen auch die selben hydraulischen Eigenschaften. Bei Ausfall eines Kessels kann der in Betrieb bleibende Wärmeerzeuger die Leistung in einem ausreichenden Maße, d. h. mindestens in der Grundlast, noch abdecken.

Aus Sicht der Regelungstechnik muss für die Kesselanlage noch ein Betriebsregime hinsichtlich der Lastaufteilung festgelegt werden. Beide Kessel können gleichzeitig an der Abdeckung der Grund- und Spitzenlast beteiligt sein.

Alternativ kann auch ein Wärmeerzeuger allein die Grundlast sicherstellen. Der zweite Kessel wird dann erst bei Anforderung der Spitzenlast in Betrieb genommen. Bei Kesseln gleicher Leistung kann überdies auch die Kesselfolge getauscht werden. Die vorgenannten Betrachtungen wurden auf

Zweikesselanlagen bezogen. Die Art der Leistungsaufteilung und Regelung lässt sich analog auf alle anderen Mehrkesselanlagen übertragen.

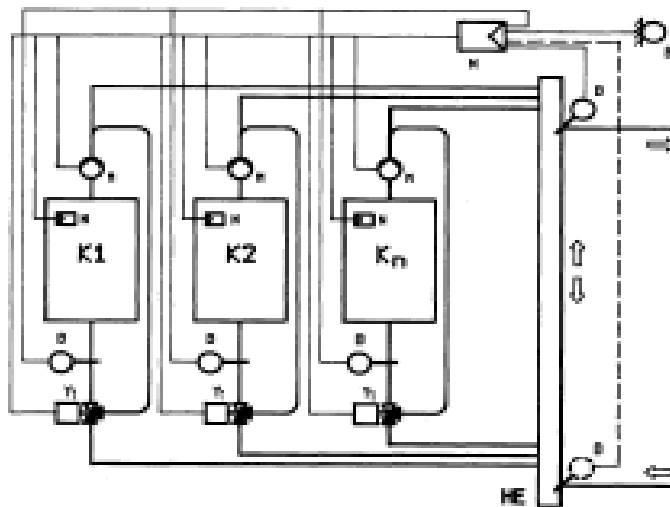
2.2.2 Parallelschaltung

Die in der Praxis am häufigsten verwendete hydraulische Verschaltung von Mehrkesselanlagen im Erzeugerkreis ist die Parallelschaltung. Für die Einbindung der Wärmeerzeuger sind vor allem die unter Punkt 1.4 genannten Forderungen zu berücksichtigen.

Die Mehrkesselschaltung als Grundschtung in der Ausführung 1 (Abb. 12) resultiert aus den Anforderungen seitens der Wärmeerzeuger. Sie wird verwendet, wenn kesselseitige Pumpen erforderlich sind. Ebenfalls ist eine Mindestrücklauftemperatur des Heizwassers und ein Mindestvolumenstrom für jeden Kessel erforderlich. Neben der Kesselkreispumpe wird jedem Heizkessel ein Stellventil, in diesem Fall ein Dreiwege-Mischventil zur Sicherstellung einer Mindestrücklauftemperatur zugeordnet. Bei der Auslegung der Bauteile muss beachtet werden, dass der anzunehmende Volumenstrom dem des Gesamt-Heizkreisvolumenstroms entspricht. Um beim Betrieb eines Kessels das Auftreten von Fehlströmungen zu vermeiden sollten die Kesselkreispumpen auf 110 % des Gesamt-Heizkreisvolumenstroms ausgelegt werden (Viessmann, 2002, S. 30).

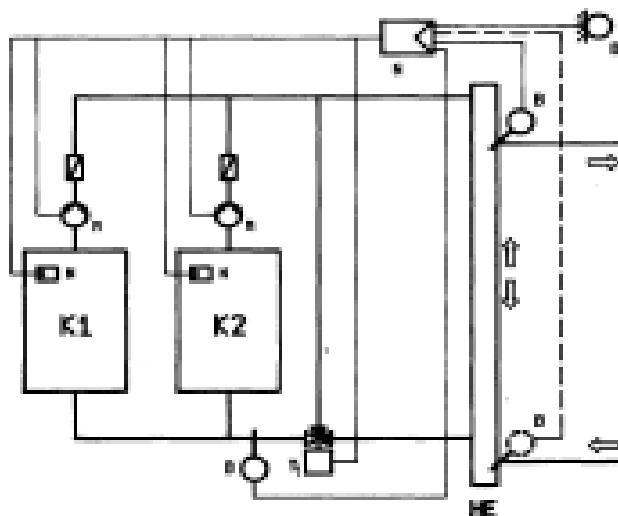
Die hydraulische Trennung des Erzeugerkreises von den restlichen Anlageteilen erfolgt über eine hydraulische Weiche. Im Hinblick auf die Betriebsweise der Heizkessel erfolgt eine Zu- und Abschaltung in Abhängigkeit des erforderlichen Wärmebedarfs oder der Anlagentemperaturen.

Abb. 12 Grundschtaltung, Ausführung 1



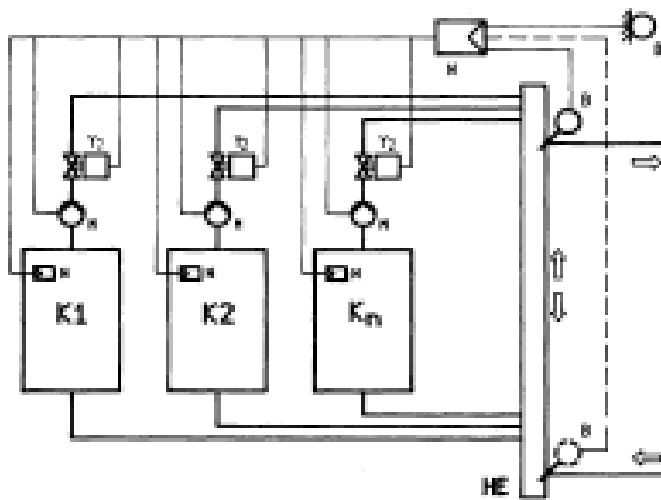
Die Ausführung 2 der Grundschtaltungen (Abb. 13) wird vor allem als Folgeschaltung für Zweikesselanlagen verwendet. Dabei wird wieder jedem Wärmeerzeuger eine Pumpe zugeordnet. Die Anforderung an den Mindestvolumenstrom wird von jedem einzelnen Kessel gestellt. Die Temperatur des Rücklauf-Heizwassers muss für alle Heizkessel den gleichen Mindestwert annehmen. Auch bei dieser Schaltung wird ein hydraulischer Koppler in Form einer Weiche realisiert. Die Regelung der Betriebsweise erfolgt analog der Ausführung 1.

Abb. 13 Grundschtaltung, Ausführung 2



Die dritte Ausführung der Grundschaltungen (Abb. 14) kann für Mehrkesselanlagen verwendet werden, deren Kessel keine Mindest-Rücklauftemperatur benötigen. Sofern jeder Heizkessel einen Mindestvolumenstrom benötigt, kommt jeweils wieder eine kesselseitige Pumpe zur Anwendung. Die hydraulische Weiche sichert die Entkopplung von den nachgeschalteten Heizkreisen.

Abb. 14 Grundschaltung, Ausführung 3

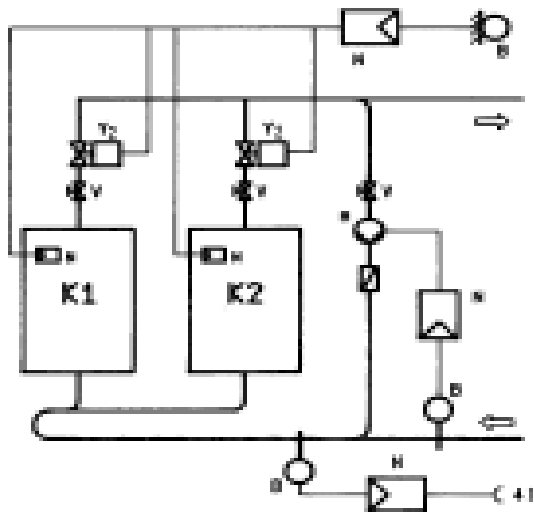


Eine weitere Möglichkeit der hydraulischen Einbindung ist in Beispiel 4 (Abb. 15) dargestellt. Diese Folgeschaltung für zwei Heizkessel ist dadurch gekennzeichnet, dass beide Wärmeerzeuger eine gemeinsame Mindest-Rücklauftemperatur des Heizungswassers benötigen. Dazu wird eine gemeinsame Primärkreispumpe vorgesehen, deren Volumenstrom von dem beizumischenden Heizwasserstrom abhängt.

Da keine Bedingungen hinsichtlich eines Mindestvolumenstroms bestehen, kann auf die Kesselpumpen verzichtet werden. Der Druckverlust der Wärmeerzeuger muss von den Pumpen der Verbraucherheizkreise überwunden werden.

Die Einbindung des Erzeugerkreises erfolgt in diesem Beispiel ohne hydraulischen Koppler. Die Regelung der Anlagen kann nach der Außentemperatur oder in Abhängigkeit vom Gesamtwärmebedarf der Anlage erfolgen.

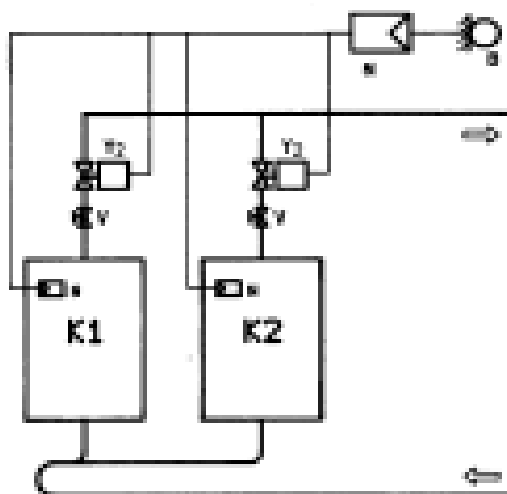
Abb. 15 Grundschtung, Ausführung 4



Die Grundschtung in der Ausführung 5 (Abb. 16) kann analog der Variante 3 für Heizkessel verwendet werden, die keine Mindest-Kessel-Rücklaufftemperatur erfordern. Da auch hier keine Mindestvolumenstrom für die Betriebsweise beachtet werden muss, kann auf die kesselseitigen Pumpen verzichtet werden.

Bei der Auslegung der Heizkreispumpen im Verbraucherkreis ist abermals der mit zu überwindende Druckverlust in den Wärmeerzeugern zu berücksichtigen.

Abb. 16 Grundschtung, Ausführung 5



2.2.3 Reihenschaltung

Die Anwendung der Reihenschaltung erfolgt im Vergleich zur Parallelschaltung deutlich seltener. Ein Grund ist die hierbei einzuhaltende Forderung, nicht im Betrieb befindliche Wärmeerzeuger hydraulisch vom Erzeugerkreis abzuschalten (Recknagel, 2002, S.695). Damit soll vermieden werden, dass eine Erwärmung des nicht aktiven Wärmeerzeugers über den gemeinsamen Heizwasserrücklauf erfolgt. Die Gefahr von Fehlströmungen ist beim Einsatz der Reihenschaltung deutlich größer. Dass der Einsatz dieser Schaltung auch sinnvoll sein kann, soll unter Punkt 3 näher erläutert werden.

3 Vorgehensweise bei der Wahl der Anlagenhydraulik in Mehrkesselanlagen – ein Leitfaden erläutert am Beispiel der Sanierung der Wärmeerzeugeranlage im Staatsbetrieb Sachsenforst in Graupa

3.1 Grundlagen

Die nachfolgenden Betrachtungen setzen sich mit der Vorgehensweise bei der Wahl der Anlagenhydraulik für den Erzeugerkreis bei Mehrkesselanlagen auseinander. Zur Illustration des Leitfadens wird hierbei auf das Beispiel der Sanierung der Wärmeerzeugeranlage für den Staatsbetrieb Sachsenforst in Graupa näher eingegangen. Die im Rahmen dieses Projekts aufgeworfenen Fragen zur Anlagensanierung bildeten die Grundlage für den Leitfaden, der bei der Betrachtung derartiger Probleme zur Lösungsfindung beitragen soll.

3.2 Maßnahmen im Staatsbetrieb Sachsenforst, Geschäftsleitung Graupa

3.2.1 Vorbetrachtungen

Im Rahmen einer energetischen Analyse in der Liegenschaft Staatsbetrieb Sachsenforst, Geschäftsleitung Graupa wurden die haustechnischen Anlagen aller Gebäude genauer betrachtet und bewertet (Stephan, 2007, S.). Bei diesen Untersuchungen wurden die Möglichkeiten zur Senkung der Betriebskosten und der Einsparung von Primärenergie aufgezeigt.

Als Ergebnis dieser Betrachtungen erfolgte eine gezielte Umsetzung ausgewählter Maßnahmen.

Die erste realisierte Maßnahme umfasste die Sanierung der Wärmeerzeugeranlage. Dabei wurde auf die Ergebnisse der energetischen Analyse zurückgegriffen, da diese im Wesentlichen die Vorgabe für die technische Realisierung enthielt.

Die Umsetzung dieser Maßnahme sowie die Betrachtungen für diese Diplomarbeit erfolgten im Ingenieurbüro Körner in Dresden.

3.2.2 Analyse der Bestandsanlage

Bei der Wärmeerzeugungsanlage für die Liegenschaft handelte es sich um eine ca. 15 Jahre alte Zweikesselanlage, die aus zwei Gas-Niedertemperaturkesseln bestand.

Die beiden Guss-Gliederkessel lieferten jeweils eine Leistung von 465 kW.

Im Zuge der Bestandsaufnahme wurde festgestellt, dass Kessel 2 ursprünglich als Dampfkessel mit einer Leistung von 365 kW installiert worden war. Durch den zwischenzeitlich gestiegenen Wärmebedarf der Liegenschaft erfolgte eine Leistungserhöhung des Kessels 2 durch den Einbau zusätzlicher Gussglieder. Im Rahmen dieser Leistungsanpassung erfolgte die Umstellung vom Dampf- auf den Wasserbetrieb des Kessels.

Da sich bereits im Rahmen der energetischen Analyse am Kessel 2 ein Wasserverlust zeigte, wurde der Austausch des Wärmeerzeugers hinsichtlich der Energieeinsparung und der Wirtschaftlichkeit genauer untersucht (IB Körner, Energetische Analyse Graupa, 2006, S.19).

Kessel 1 befand sich in einem technisch deutlich besseren Zustand, weshalb die Weiterverwendung des Wärmeerzeugers festgelegt wurde.

Die hydraulische Einbindung beider Kessel geschah in Form einer Parallelschaltung. Beide Wärmeerzeuger verfügten über ein Dreiwege-Mischventil und eine Kesselkreispumpe zur Sicherstellung der Mindestrücklauftemperatur. Die hydraulische Trennung zwischen Verteilungs- bzw. Verbraucherkreisen und dem Erzeugerkreis erfolgte durch eine hydraulische Weiche. Die Verbraucherheizkreise in den einzelnen Gebäuden sind durch einen differenzdrucklosen Verteiler zusätzlich vom Erzeugerkreis hydraulisch getrennt. Die heizungsseitige Erschließung der Liegenschaft erfolgt ausgehend von der Heizzentrale über ein Nahwärmenetz zu den einzelnen Gebäuden.

3.2.3 Ermittlung des erforderlichen Wärmebedarfs

Im Rahmen der energetischen Analyse erfolgte bereits die Überprüfung der Heizlast auf Basis des Gasverbrauchs der Kesselanlage (IB Körner, Energetische Analyse Graupa, 2006, S. 17).

Im Zuge der Planung der Sanierung wurde die Heizlast in der Liegenschaft mit Beachtung weiterer bautechnischer Maßnahmen neu ermittelt (Anl. 1). Unter Berücksichtigung der in der energetischen Betrachtung ermittelten Ergebnisse wurde eine Gesamtleistung von 795 kW berechnet. Auf dieser Grundlage erfolgte die weitere Betrachtung hinsichtlich der Änderungen der Wärmeerzeugung.

3.2.4 Sanierung der Mehrkesselanlage

Auf Basis der Ergebnisse der energetischen Untersuchung, bei denen der Austausch des Niedertemperaturkessels 2 durch einen Brennwertkessel empfohlen worden war, erfolgte die Umplanung der Anlage nach Bestätigung dieser Ausführung durch den Auftraggeber.

Die Grundvoraussetzung in dem Projekt lag darin, dass die hydraulische Einbindung des neu zu errichtenden Brennwertkessels in die Bestandsanlage erfolgen sollte. Dazu wurde die Demontage des alten Kessels 2 durchgeführt. Es galt die weitere Verwendung des Niedertemperaturkessel 1 zu berücksichtigen und damit die hydraulische Verschaltung beider Wärmeerzeuger zu betrachten.

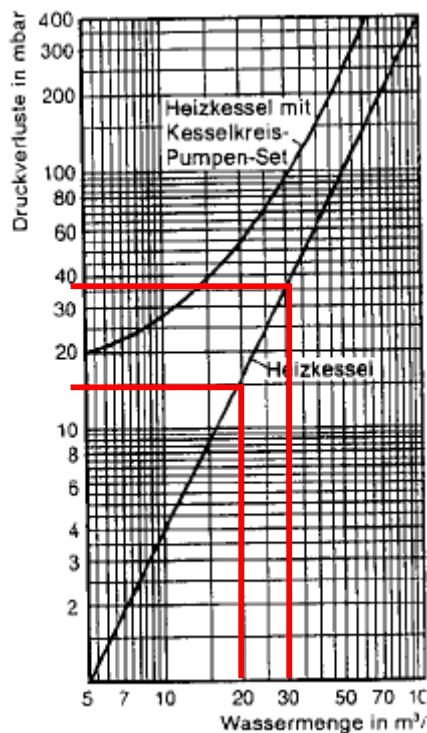
Als erster Schritt wurde Kessel 1 hinsichtlich seiner Anforderungen an die Betriebsweise untersucht. Es ergaben sich folgende Bedingungen, die im Wesentlichen aus den Forderungen des Kesselherstellers resultierten:

1. Der Wärmeerzeuger vom Typ G 505 (Hersteller Buderus) benötigt eine Mindest-Rücklauftemperatur von 50°C. Dadurch muss auch weiterhin die Anhebung der Mindestrücklauftemperatur gewährleistet werden. Die bisher

im Rücklauf befindliche Kesselkreispumpe wird nun in dem Bypass als Beimischpumpe verwendet.

2. Der heizwasserseitige Druckverlust im Kessel muss in Abhängigkeit von der hydraulischen Einbindung und dem daraus folgenden Volumenstrom überprüft werden (Abb. 18). Dabei ergaben sich folgende Werte: Bei der Abdeckung der Heizlast von 795 kW ergibt sich ein Gesamtvolumenstrom von 30 m³/h. Damit stellt sich bei der Durchströmung des Kessels ein Druckverlust von ca. 35 mbar ein. Bei der Nennleistung des Wärmeerzeugers von 465 kW ergibt sich ein Druckverlust von ca. 20 mbar.

Abb. 18 Wasserseitiger Widerstand



3. Der Kessel liefert eine Nennleistung von 465 kW. Diese Leistung soll auch im Verbund der neuen Mehrkesselanlage voll ausgeschöpft werden.

Wie bereits oben angemerkt, sollte der neue Kessel 2 als Brennwertkessel ausgeführt werden. Die Wirtschaftlichkeit zur Verwendung dieses Kessels wurde im Rahmen der Planung nicht erneut betrachtet. Im Hinblick auf die Betriebsweise wurde jedoch festgelegt, dass der Brennwertkessel die

Grundlast absichern soll. Damit wird die Forderung nach einer hohen Laufzeit des Kessel. Da bei einer in Abhängigkeit von der Außentemperatur gewählten Betriebsweise über den größten Teil des Jahres nur in der die Grundlast abgedeckt werden muss, können die für die Nutzung des Brennwerteffektes erforderlichen niedrigen Rücklauftemperaturen gewährleistet werden.

Der neue Wärmeerzeuger sollte wie bereits erwähnt als Brennwertkessel ausgeführt werden. Aus der Heizlastberechnung resultierte die erforderliche Nennleistung von mindestens 330 kW für diesen Wärmeerzeuger.

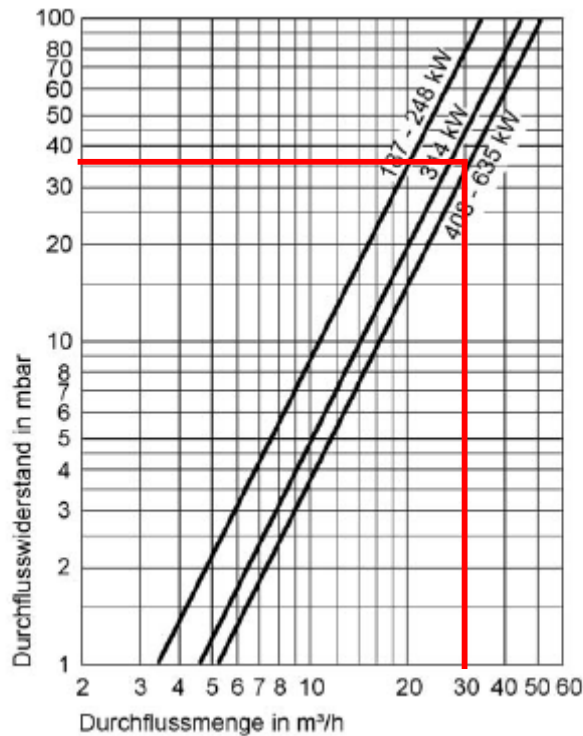
Im Zuge der Planung erfolgte die eingehende Prüfung der verwendbaren Heizkessel mehrerer Hersteller. Als Ergebnis erfolgte die Auswahl eines Wärmeerzeugers der Firma Viessmann mit dem Fabrikat Vitocrossal 300.

Dieser Wärmeerzeuger wurde auch hinsichtlich seiner Verwendbarkeit geprüft:

1. Der gewählte Kessel ist ein Brennwertgerät mit einer Nennleistung von 370 kW.
2. Er ist durch ein großes Kesselwasservolumen mit 490 Litern gekennzeichnet. In Verbindung mit einer strömungsgünstigen Konstruktion ergibt sich im Wärmeerzeuger eine gute Eigenzirkulation des Heizwassers. Es bestehen keine Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom oder einen Mindestwert der Rücklauftemperatur.

Der heizwasserseitige Widerstand beträgt bei einem Volumenstrom von 30 m³/h nur 35 mbar (Abb. 19). Bei der Abdeckung der Grundlast ergibt sich ein Heizwasservolumenstrom von 15 m³/h und damit ein Druckverlust von 15 mbar.

Abb. 19 Heizwasserseitiger Durchflusswiderstand



Für die Festlegung der hydraulischen Verschaltung der beiden Wärmeerzeuger wurden folgende Annahmen getroffen. Der Brennwertkessel ist bei der Abdeckung der Grund- und Spitzenlast in Betrieb. Dadurch wird die hohe Laufzeit und die Sicherstellung ein hohen Nutzungsgrades gewährleistet. Der bestehende Niedertemperaturkessel wird nur zur Spitzenlastabdeckung eingesetzt. Dadurch muss sichergestellt werden, dass beim Betrieb des Brennwertgerätes eine Durchströmung des 1. Kessels vermieden wird.

Bei der Auswahl der hydraulischen Verschaltung ergaben sich folgende Ansätze: Erfolgt die Einbindung über eine Parallelschaltung, dann kann die Durchströmung des Kessel eins im Grundlastbereich durch entsprechende Stellarmaturen verhindert werden. Bei Anforderung des 1. Kessel könnte durch ein Stellungsänderung der Ventile die Fließrichtung frei gegeben werden.

Für die hydraulische Einbindung der Wärmeerzeugungsanlage in der Liegenschaft Staatsbetrieb Sachsenforst, Geschäftsleitung Graupa erfolgte

jedoch die Anwendung der Reihenschaltung (Anl. 1). Dies lässt sich anhand folgender Punkte festmachen: Im Grundlastbereich wird nur der Brennwertkessel durchströmt. Der 1. Kessel wird über ein Dreiwegeventil hydraulisch abgetrennt.

Wird entsprechend des Gesamtwärmebedarfs die Abdeckung der Spitzenlast gefordert, wird der Kessel durch die Änderung des Fließweges über das Ventil vom gesamten Heizwasser durchflossen. Es wird damit erreicht, dass der kühle Rücklauf des Heizwasser aus den Verbraucherkreisen immer erst in den Rücklauf des Brennwertkessels gelangt und dort erwärmt wird. Über den Heizwasservorlauf strömt das Wasser in den Rücklauf des 1. Kessel in dessen Wärmeübertragerfläche. Dort erfolgt die weitere Temperaturerhöhung. Vom Vorlauf des 1. Kessel erfolgt nun die Versorgung der nachgeschalteten Verbraucherkreise.

Bei wieder reduziertem Wärmebedarf erfolgt die umgekehrte Reduzierung der Wärmeleistung, d. h. es wird erst der 1. Kessel außer Betrieb genommen und danach die Leistung des Brennwertkessel reduziert.

Auf die Anpassung an den Wärmebedarf über die Regelung der Brennerleistung beider Heizkessel soll hier nicht eingegangen werden.

In der Bestandanlage befand sich des weiteren eine hydraulische Weiche, die eine Trennung des Erzeugerkreis vom restlichen System ermöglichte. Im Zuge des Einbaus des Brennwertgerätes erfolgte die Außerbetriebnahme des Entkopplers, um eine Anhebung der Heizwasserrücklauftemperatur zu vermeiden.

3.2.5 Kurzanleitung

Bei der Betrachtung der hydraulischen Verschaltung im Erzeugerkreis bei Mehrkesselanlagen müssen folgende Punkte analysiert werden:

1. Welche Art von Wärmeerzeuger sind vorhanden bzw. welche Art soll wieder hydraulisch eingebunden werden.
2. In Abhängigkeit von der Art des Wärmeerzeugers ist zu prüfen, welche Anforderung an die Betriebsweise gestellt werden.
3. Bei Bestandsanlagen ist zu prüfen, wie die hydraulische Einbindung aller angeschlossenen Bestandteile erfolgt.
4. Festlegung der Hydraulik für den Erzeugerkreis unter Berücksichtigung von Punkt 2.
5. Dimensionierung der neuen Bauteile, ggf. prüfen ob bestehende Bauteile wie z. B. Pumpen wieder verwendet werden können. Hierbei ist die Wirtschaftlichkeit zu betrachten.
6. Prüfen der Auswirkungen auf die Regelungstechnik der Anlage; Prüfen ob die neuen Bauteile in die bestehende Regelungsanlage integriert werden können.

4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde versucht, anhand der Vielzahl der Möglichkeiten der hydraulischen Schaltungen näher zu beleuchten. Dadurch sollte die Anwendbarkeit für den Aufbau des Erzeugerkreise von Mehrkesselanlagen bewertet werden können. Bei der Betrachtung derartiger Aufgabenstellung muss jedoch individuell geprüft werden, inwieweit diese Systeme tatsächlich angewendet werden können.

Anlage 1

Aufstellung der aktuellen Heizlasten

Staatsbetrieb Sachsenforst, Geschäftsleitung Graupa

Stand: 20.06.2007

Modern./Umbau	Heizlasten (kW)														
	1992	1999			2000			2001	2003	2004			2007 / geplant		
Heizung	Hzg.	RLT GLZ=0,7	gesamt mit GLZ	Hzg.	RLT GLZ=0,6	gesamt mit GLZ	gesamt	gesamt	gesamt	Hzg.	RLT GLZ=0,5	gesamt mit GLZ	Hzg.	RLT GLZ=0,6	gesamt mit GLZ
Gebäude 01	78		78	83	30	101	101	101	101			101			101
Gebäude 02	60		60			60	60	35	35			35			35
Gebäude 03	161		161			161	161	161	161			161	111	93	167
Gebäude 04.1-2	65		65			65	30	30	30			30			30
Gebäude 04.3	76		76			76	76	76	76			76			76
Gebäude 04.5	-		-			-	-	-	-	28	150	103			103
Gebäude 05	68		68			68,0	68	68	68			68			68
Gebäude 06	77		77			77	77	77	77			77			77
Gebäude 09	55		55			55	55	55	55			55	Abriss 2005		-
Gebäude 10	18		18			18	18	18	18			-			-
Gewächshaus	54		54			54	54	54	54			54			54
Gebäude 12	20		20			20	20	20	20			20			20
Gebäude 19	30		30			30	30	30	30			30		Gebäude 18.2, 1)	21
Gebäude 20	41		41			41	41	41	41			41		Gebäude 18.3, 1)	29
Laborneubau	-	35	104	108		108	108	108	108			108			108
Berechnung	803		911			934	899	874	959			889			
Kesselleistung in (kW)	830 (465/365)	930 (465/465)													

Bemerkungen

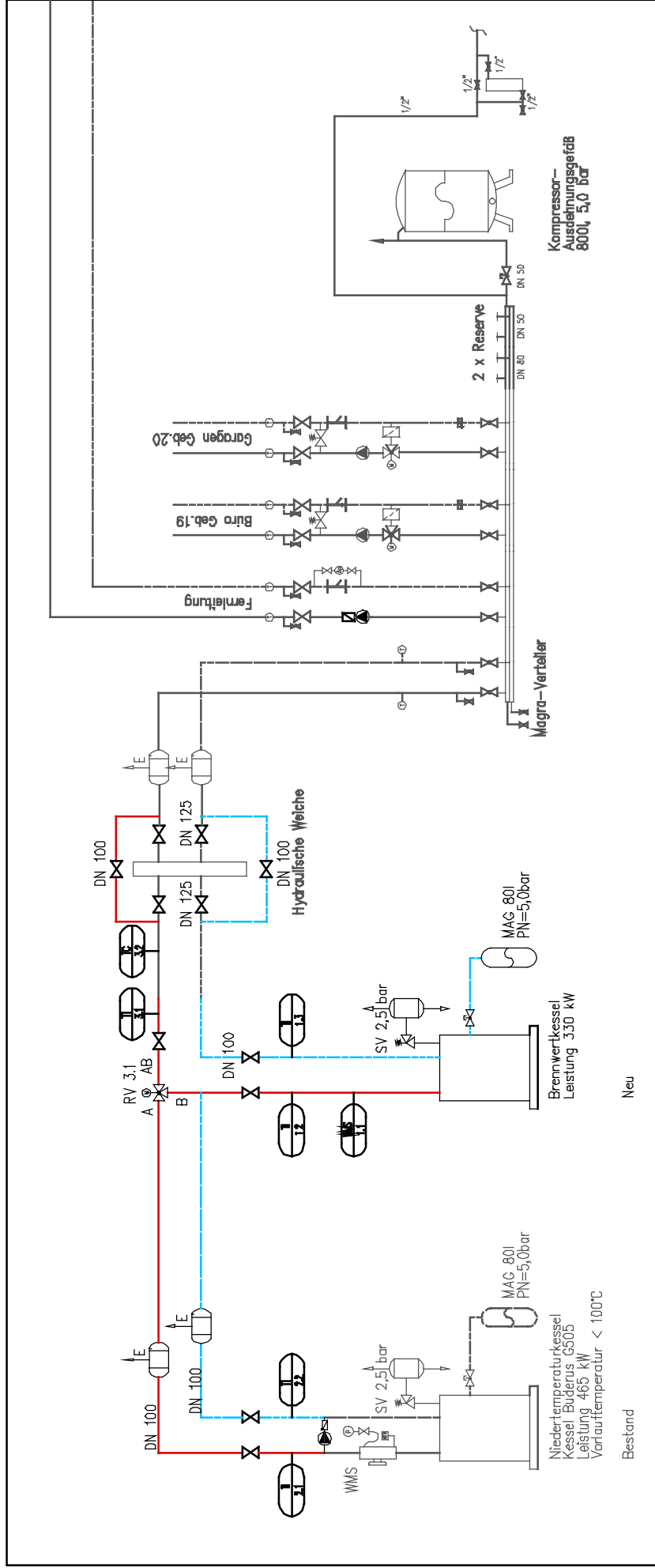
1) Gebäudesanierung in 2007/2008, Reduzierung der Heizlast auf 70%

Anlage 1

Ermittlung der notwendigen Kesselleistung

Stand: 20. Jun 07

<u>Ermittlung lt. Gutachten</u>		630 kW
Zuschlag für Ungenauigkeiten	+	65 kW
Vorhaltung weiterer Ausbau	+	100 kW
Gesamtleistung, Empfehlung lt. Gutachten	=	795 kW
vorh. KesselBuderus	-	465 kW
Mindestleistung des neuen Kessels	=	330 kW



Legende:

- WMS Wassermangelicherung
- RV Regelventil
- SV Sicherheitsventil
- T Temperatur
- I Anzeige
- C Messung

a	Vorabzug Ausführungplanung	29.06.07	Gü
Ind.	Änderung	Datum	Stignum

STAATSBETRIEB SACHSENFORST, GL GRAUPA	
UMSETZUNG D. MAßNAHMEN AUS DER ENERGIEANALYSE	
Planung:	Auftraggeber:
Ingenieurbüro Körner	Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, NL Dresden I
01309 Dresden, Jacobstr. 8	Königsbrücker Straße 80, 01099 Dresden
Tel.: 0351/31666-0, Fax: 31666-31	
e-mail: info@B-Koerner.de	

Funktionsschema-Heizzentrale	
Maßstab:	Datum:
	07.06.2007
gezeichnet:	Gü
Datenname:	Funktionsschema_Heiz
Zeichnungsnummer:	133-1

Literaturverzeichnis

Arbeitskreis der Dozenten für Heizungstechnik. Die Warmwasserheizung. München, Wien. R. Oldenbourg Verlag. 1988. 2. Auflage

Arbeitskreis der Dozenten für Regelungstechnik. Baumgarth, Siegfried. Regelungstechnik in der Versorgungstechnik. Karlsruhe. Verlag C. F. Müller. 1992. 3. Auflage.

Buderus Heiztechnik GmbH. Handbuch für Heizungstechnik. Beuth Verlag GmbH. 2002. 34. Auflage

Burkhardt, Wolfgang. Projektierung von Warmwasserheizungen. München, Wien. R. Oldenbourg Verlag. 1997. 5. Auflage

Ingenieurbüro Körner. Energetische Analyse im Staatsbetrieb Sachsenforst, Geschäftsleitung Graupa. 2006.

Norm VDI 2073: Hydraulische Schaltungen in Heizungs- und Raumlufthechnischen Anlagen

Norm VDMA 24770: Kesselfolgeschaltungen

Recknagel, Sprenger, Schramek. Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik. 2002. 71. Auflage

Roos, Hans. Hydraulik der Wasserheizung. München, Wien. R. Oldenbourg Verlag. 1999. 4. Auflage

Stephan, Dietmar. Entwicklung eines Leitfadens zur Energetischen Untersuchung heizungstechnischer Versorgungskonzepte von Gebäuden. 2007. Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Maschinenbau/ Feinwerktechnik, Diplomarbeit, 2007

Viessmann Werke. Fachreihe Brennwerttechnik. Allendorf (Eder). 09/2006

Viessmann Werke. Fachreihe Mittel- und Großkesselanlagen.
Allendorf (Eder). 02/2002

Viessmann Werke. Fachreihe Wärmepumpen. Allendorf (Eder). 07/2006

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Dresden, 27.03.2009

.....